



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

FELIPE LOCH KONS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE
BIODIGESTORES EM PROPRIEDADE LEITEIRA**

Tubarão

2020

FELIPE LOCH KONS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE
BIODIGESTORES EM PROPRIEDADE LEITEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me. Eng.

Tubarão

2020

FELIPE LOCH KONS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE
BIODIGESTORES EM PROPRIEDADE LEITEIRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 14 de julho de 2020.

Professor e orientador Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Luís Fernando Ferreira de Campos, Me. Eng
Universidade do Sul de Santa Catarina

Maxciel Neto Mendes

Maxciel Neto Mendes,
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha família em especial aos meus pais que sempre me deram apoio e proporcionaram a chance de estar iniciando, e agora concluindo o curso de engenharia elétrica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores que se dedicaram para estarem transmitindo conhecimento para todos ao longo do curso, em especial ao meu orientador Prof. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior que esteve me orientando e dando apoio desde o início deste trabalho, Como também o professor Luís Fernando Ferreira de Campos que esteve comigo no laboratório auxiliando nos testes que foram realizados.

Agradeço novamente a minha família, meu pai Roque Kons, e mãe Siuzete Loch Kons e meus irmãos Letícia Loch Kons e Thiago Loch Kons.

RESUMO

A bovinocultura de corte e leite são responsáveis por 79% das emissões da agricultura, e representaram 17% de toda emissão de Gases do Efeito Estufa do Brasil em 2016. É um percentual muito elevado de poluição, porém, uma grande oportunidade de converter esse e outros problemas relacionados ao descarte inadequado de dejetos, em benefícios aos pecuaristas. Uma alternativa para lidar com esse problema é a utilização de biodigestores, que são câmaras hermeticamente fechadas, onde se processa a fermentação anaeróbica de resíduos orgânicos (dejetos animais, resíduos vegetais e industriais etc.) produzindo o biogás e biofertilizante. O biofertilizante é um ótimo fertilizante para o solo, e proporciona um aumento de produtividade e rentabilidade dos cultivos. Já o biogás pode ser utilizado para a geração de energia elétrica através de um conjunto motogerador. A energia gerada poderá ser conectada ao sistema de distribuição de energia e fazer parte da geração distribuída, visto que é uma fonte de geração de energia renovável, desde que se encaixe em microgeração (potência de até 75kW) e minigeração (potência de 75kW a 5MW). Este trabalho apresenta um projeto de geração de energia através de biodigestores em uma propriedade leiteira, como também o dimensionamento do motogerador para a geração de energia elétrica, juntamente com as proteções necessárias para a ligação ao sistema de distribuição, também apresenta um estudo de viabilidade técnica e econômica de sua implantação.

Palavras-chave: Biodigestor. Geração distribuída. Biogás.

ABSTRACT

Beef and dairy cattle are responsible for 79% of agricultural market exports and represent 17% of all greenhouse gas emissions in Brazil in 2016. It is a very high percentage of exposure, however, a great opportunity to convert this and other problems related to the disposal of waste, in benefits to ranchers. An alternative to deal with this problem is the use of biodigestors, which are hermetically sealed chambers, where waste (fasting animals, vegetable and industrial waste, etc.) goes through an anaerobic fermentation process where biogás and bio-fertilizer are produced. Biofertilizer is an excellent fertilizer for the soil and provides an increase in productivity and profitability of crops. Biogas can now be used to generate electricity through a set of generators. A generated energy can be connected to the energy distribution system and be part of the distributed generation, seen as a source of renewable energy generation, as long as it fits in micro-generation (power up to 75kW) and mini-generation (power from 75kW to 5MW) This paper presents a project to generate energy through biodigestors in a dairy farm, as well as the design of a power generator, associated with the necessary protections for a connection to the distribution system, it also presents a technical feasibility study. and economical implementation.

Keywords: Biodigester. Distributed generation. Biogas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de manejo de dejetos das principais categorias animais no Brasil e o número de animais com potencial de inclusão em projetos de mitigação de GEE via manejo de dejetos	16
Figura 2 – Estrutura de um biodigestor modelo Indiano	19
Figura 3 – Estrutura de um biodigestor modelo chinês	20
Figura 4 – Estrutura de um biodigestor modelo canadense	21
Figura 4 – Filtro de Limalha de Ferro	25
Figura 6 – Motogerador B4t-10000 Bioflex	30
Figura 7 – Motogerador CHP400	30
Figura 8 – Inversor de frequência WEG CFW300	31
Figura 9 – Procedimentos e etapas de acesso	33
Figura 10 – Coleta de água para determinar a vazão	38
Figura 11 – Biodigestor Canadense	39
Figura 12 – Gerador Bioflex 9,5kVA	41
Figura 13 – Layout de ligação dos equipamentos.	43
Figura 14 – Valores de ajustes de proteção para conexão de geradores síncronos.	45
Figura 15 – Esquema de ligação do gerador a rede elétrica.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do biogás	22
Tabela 2 – Composição do biogás segundo Sun (2015).....	23
Tabela 3 – Impurezas e impactos do biogás	23
Tabela 4 – Composição do biogás	25
Tabela 5 – Quantidade estimada de dejetos gerados por dia.....	26
Tabela 6 – Geração de biogás para diferentes biomassas.....	26
Tabela 7 – Capacidade Instalada de Geração Elétrica – dez/2018	28
Tabela 8 – Fontes de biomassa e eficiências típicas para tecnologias de geração de bioeletricidade	29
Tabela 9 – Proteções mínimas necessárias para conexão à rede elétrica.	33
Tabela 10 – Amostra de tempo para obter vazão do jato.	37
Tabela 11 – Equipamentos para abastecer em caso de falta.....	43
Tabela 12 – Custos envolvidos no projeto	47
Tabela 13 – Custos de manutenção (anual).....	47
Tabela 14 – <i>Payback</i> descontado	48
Tabela 15 – <i>Payback</i> descontado	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
1.4	DELIMITAÇÕES	14
1.5	METODOLOGIA	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	IMPACTO AMBIENTAL	16
2.2	BIODIGESTORES	17
2.2.1	Digestão anaeróbica	18
2.2.2	Tipos de biodigestores.....	18
2.2.2.1	Modelo indiano.....	18
2.2.2.2	Modelo chinês	19
2.2.2.3	Modelo canadense	21
2.2.3	Dispositivo Gerador de Descarga.....	22
2.3	BIOGÁS.....	22
2.3.1	Composição do biogás.....	22
2.3.2	Remoção do H₂S	24
2.3.3	Equivalência energética do biogás	25
2.4	BIOMASSA	26
2.5	BIO FERTILIZANTE.....	27
2.6	MATRIZ ENERGETICA BRASILEIRA.....	27
2.7	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA	28
2.8	INVERSORES DE FREQUÊNCIA	31
2.9	CONEXÃO DE GERADOR A REDE DE DISTRIBUIÇÃO	32
2.9.1	Sistema de Proteção	33
2.10	GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	34
3	METODOLOGIA E RESULTADOS	36

3.1	QUANTIA DE DEJETOS PRODUZIDA DIARIAMENTE DISPONÍVEL PARA USO DO BIODIGESTOR.....	36
3.2	QUANTIA DE GÁS GERADA DIARIAMENTE.....	38
3.3	DEFINIÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR.....	39
3.3.1	Câmara de Fermentação	40
3.3.2	Dimensionamento Dispositivo Gerador de Descarga.....	40
3.4	SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA	41
3.4.1	Definição do inversor de frequência	42
3.5	SISTEMA DE CONEXÃO COM A REDE	44
3.6	VIABILIDADE ECONÔMICA	46
4	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira em 2018 contou com 83,3% de participação de fontes renováveis na matriz da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE). Essa grande participação de fontes renováveis não é vista em todo mundo, sendo que a média mundial de oferta de energia elétrica vindas de fontes renováveis em 2018 ficou em apenas 26,2% (MME, 2019).

Uma fonte de geração de energia renovável é a biomassa, a capacidade de geração de energia elétrica através de biomassa corresponde a apenas 9% do total instalado no Brasil, entretanto, quando falando de geração através do biogás a capacidade fica em apenas 0,1% do total instalado no Brasil (MME, 2019).

A geração do biogás é feita através de biodigestores, para Alencar (1981, p. 2) biodigestores “São câmaras hermeticamente fechadas, onde se processa a fermentação anaeróbica de resíduos orgânicos (dejetos animais, resíduos vegetais e industriais, etc.) produzindo o biogás e biofertilizante.” Segundo Deganutti et al. (2002) o biodigestor constitui-se principalmente de uma câmara fechada onde ficará o material orgânico e a campânula onde ficará o gás gerado após o material orgânico se decompor.

Há diferentes tipos de biodigestores, cada um com características diferentes para um melhor rendimento em diferentes cenários, no decorrer deste trabalho será apresentado os diferentes tipos de biodigestores. A partir do momento que começa a geração de biogás é possível a utilização de motogeradores para gerar energia elétrica a partir do biogás (TOLMASQUIM, 2016).

Em 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482/2012, desde então o consumidor pode realizar a troca de energia gerada (através de fontes renováveis ou cogeração qualificada) com a rede e ser compensado pela energia injetada na rede (ANEEL, 2012). O Art. 1º da resolução estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração (potência inferior a 75kW) e minigeração (potência de 75kW a 5MW) distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Portanto a geração distribuída se torna muito interessante para a geração de energia a partir de biogás, pois oferece muitas vantagens, sendo que se pode gerar a própria energia e no momento em que a energia gerada ultrapassar a que está sendo consumida pode-se injetar o excedente na rede da concessionária e gerar créditos para o consumidor, sendo que esses créditos poderão ser usados em momentos que a geração não consegue suprir a carga interna, tendo um prazo de 60 meses para fazer uso dos créditos (ANEEL, 2012).

1.1 JUSTIFICATIVA

A bovinocultura de corte e leite são responsáveis por 79% das emissões da agricultura, e representaram 17% de toda emissão de Gases do Efeito Estufa do Brasil em 2016 (SEEG, 2018). É um percentual muito elevado de poluição, porém, uma grande oportunidade de converter esse e outros problemas relacionados ao descarte inadequado de dejetos, em benefícios aos pecuaristas.

Além da possibilidade de aproveitamento de dejetos de animais, os biodigestores oferecem ainda vantagens no tratamento racional dos dejetos das cidades, por biodegradação, eliminando a poluição ambiental e permitindo a obtenção de biogás e biofertilizante para a agricultura (ALVES; MELO; WISNIEWSKI, 1980).

Alves, Melo e Wisniewski (1980), apresentam ainda algumas ideias sobre o objetivo de produzir biogás, indiferentemente de suas dimensões, são elas:

1. Proporciona maior conforto ao pecuarista, com a produção de um combustível prático e barato que pode ser usado para fins de iluminação, geração de calor e geração de energia elétrica.
2. Contribui para a economia do consumo de petróleo, pois o biogás pode ser um combustível alternativo.
3. Produzir biofertilizante que é um ótimo fertilizante para o solo, proporcionando assim um aumento de produtividade e rentabilidade dos cultivos.
4. Contribui com a preservação do meio ambiente através da digestão anaeróbica dos dejetos evitando a poluição.

Portanto pode-se perceber que a área de biodigestores é uma área que traz diversos benefícios e precisa ser mais estudada e melhorada para poder continuar se desenvolvendo e trazendo benefícios a todos.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O Brasil possui um rebanho bovino com 226 milhões de cabeças, sendo assim pertencente do segundo maior rebanho do mundo, ficando atrás somente da Índia (MAPA, 2018). Destes 226 milhões de cabeças, aproximadamente 24 milhões são de vacas ordenhadas em 2018 (Embrapa, 2019). A quantidade de dejetos gerados por vacas ordenhadas é de 316,9 milhões de Toneladas/ano para o ano de 2012 onde foram consideradas 22.435.289 vacas

ordenhadas (IPEA, 2012), para dados atuais (24 milhões de vacas ordenhadas) podemos considerar a quantia de dejetos de aproximadamente 339 milhões de Toneladas por ano.

Um dos problemas enfrentados na criação dos animais, principalmente na produção de leite, criados em pouco espaço em galpões é o manejo dos dejetos gerados pelos animais, se esses dejetos não tiverem um manejo correto podem aumentar o risco de disseminação de doenças tanto para os animais quanto para humanos, causar mal cheiro, além de toda poluição ambiental (EducaPoint, 2018).

Muitas vezes esses dejetos são reunidos e posteriormente espalhados no solo com o auxílio de tratores, esse tratamento se torna caro, pois faz uso de combustíveis para a distribuição no solo além do investimento no equipamento para fazer o espalhamento, outro ponto negativo é a compactação do solo, devido ao elevado peso dos tratores e o espalhador contendo os dejetos.

Uma das formas de lidar com o problema da poluição e demais problemas causados pelos dejetos animais e ainda gerar lucro para as propriedades é a implantação de biodigestores. Neste trabalho será feito um estudo sobre a viabilidade da geração de energia elétrica através de biodigestores em uma propriedade leiteira, afim de combater o problema com o manejo dos dejetos e gerando energia elétrica e térmica como também biofertilizante para a propriedade, que poderá ser espalhado com o auxílio de uma bomba, dispensando o uso de tratores.

1.3 OBJETIVOS

Esse tópico traz os objetivos a serem alcançados neste trabalho, ele se divide em objetivo geral, que é o principal objetivo do trabalho e objetivos específicos, que são os objetivos que precisarão serem resolvidos para chegar ao objetivo geral.

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica da geração de energia através de biodigestores em propriedade leiteira.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a quantia de dejetos produzida diariamente pelos animais que poderá ser utilizada para geração de energia.

- Determinar a quantia de água utilizada para lavação dos dejetos.
- Determinar a quantia de biogás que poderá ser gerada diariamente.
- Determinar o custo de implantação do biodigestor e motogerador.
- Determinar a quantidade de geração de energia.
- Dimensionar o sistema de proteção e conexão à rede de distribuição.

1.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho será voltado para uma propriedade localizada no sul de Santa Catarina, onde possui gado leiteiro da raça Jersey, a propriedade conta com cerca de 70 animais criados em sistema semi-intensivo, os dejetos utilizados serão somente os deixados pelos animais nos galpões na hora da ordenha e alimentação.

1.5 METODOLOGIA

Primeiramente será necessário definir a quantia de esterco fresco gerada por dia, para isso será realizado o recolhimento dos dejetos correspondentes a um dia para posteriormente serem pesados, visto que o sistema de criação dos animais é o sistema Semi-Intensivo, onde as vacas ficam no pasto a maior parte do tempo e duas vezes por dia vão aos galpões para serem ordenhadas e também alimentadas, portanto, para se ter a real quantidade de dejetos gerada diariamente será realizada a pesagem de alguns dias e posteriormente usar a média para fins de cálculos.

Posteriormente será preciso também determinar a quantia de água utilizada para a lavação, pois para dimensionar o tamanho do biodigestor será preciso o volume total de material que entrará nele, será necessário verificar se a quantia de água não é muito alta em relação a quantia de dejetos sólidos, nesse caso precisaria uma readequação do sistema de lavação.

Com os dados que forem obtidos nos passos citados acima já será possível calcular a quantia de gás será gerada, com isso será possível fazer o dimensionamento do grupo gerador e calcular a quantia de energia elétrica e térmica que poderá ser gerada.

A partir desse momento teremos todos os dados necessários para dimensionar o sistema de proteção e determinar como será a ligação a rede elétrica, e por fim fazer o estudo econômico do projeto.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 deste trabalho é destinado a introdução ao tema, como também a definição dos objetivos, geral e específicos, também definimos o problema a ser resolvido junto com as delimitações. O capítulo 2 é destinado a revisão bibliográfica, é destinado a obtenção do conhecimento necessário para resolver o problema definido no capítulo 1, neste capítulo será apresentado os tipos de biodigestores e os processos que envolvem, também será apresentado como é feita a geração de energia através do biogás e como poderá ser aproveitada.

Posteriormente, o capítulo 3 será destinado a solução do problema de pesquisa e o capítulo 4 ficará com a conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

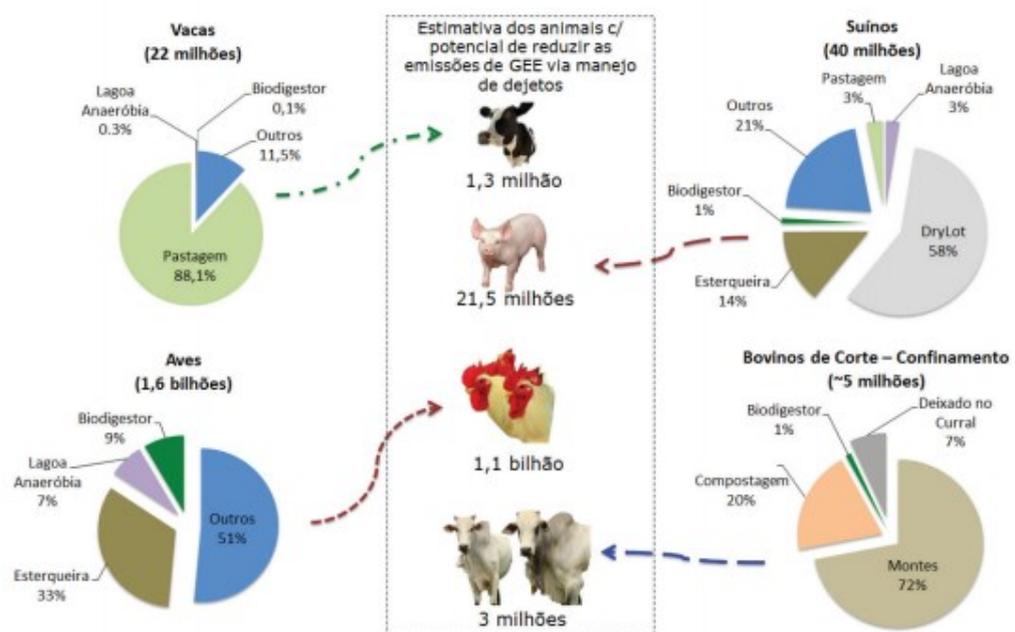
Nesta sessão será apresentado os conceitos fundamentais sobre biodigestores a fim de obter conhecimento necessário para desenvolver o estudo de implantação de um biodigestor para geração de energia no cenário proposto.

2.1 IMPACTO AMBIENTAL

Um dos grandes problemas da criação de bovinos é a emissão de gases do efeito estufa (GEE), segundo SEEG (2018), a maioria dos dejetos bovinos não são manejados de maneira correta, sem o tratamento adequado essa concentração de matéria orgânica que quando se decompõem desencadeia reações que levam a emissão de GEE, principalmente N_2O e CH_4 . Segundo o MAPA (2018), outra fonte emissora de GEE é através da fermentação entérica, onde determinados microrganismos presentes no rúmen produzem CH_4 durante a digestão.

Uma forma de diminuir a emissão de GEE é a utilização de sistemas como a compostagem e a biodigestão anaeróbica. Estudos mostram que esses sistemas emitem cerca de 40% menos GEE que apenas estocar os dejetos em montes ou esterqueiras antes de serem adicionados ao campo (SEEG, 2018).

Figura 1 – Sistema de manejo de dejetos das principais categorias animais no Brasil e o número de animais com potencial de inclusão em projetos de mitigação de GEE via manejo de dejetos



Fonte: (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG, 2018).

O Brasil em 2016 emitiu cerca de 2,3 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂e), desse total, a agropecuária contribuiu com cerca de 30% (499 MtCO₂e). A bovinocultura de corte e leite são responsáveis por 79% das emissões da agricultura, portanto representaram 17% de toda emissão de GEE do Brasil em 2016 (SEEG, 2018).

Como se pode ver na Figura 1, 88% dos dejetos de bovinos leiteiros fica nas pastagens, sendo assim não evita nada da emissão de GEE, apenas 0,1% dos dejetos são tratados através de biodigestores. Ainda, segundo a Figura 1, 1,3 milhões de vacas tem potencial para reduzir as emissões de GEE via manejo de dejetos, isso resulta cerca de 6% do rebanho de vacas leiteiras, porém, já é um número muito acima dos 0,1% tratados de forma correta hoje.

Nesse trabalho será feito o estudo para determinar se o uso de biodigestores pode ser, além de interessante para a diminuição da emissão dos GEE, ser ainda utilizado para geração de energia elétrica.

2.2 BIODIGESTORES

Para Alencar (1981, p. 2) biodigestores “São câmaras hermeticamente fechadas, onde se processa a fermentação anaeróbica de resíduos orgânicos (dejetos animais, resíduos vegetais e industriais, etc.) produzindo o biogás e biofertilizante.” Segundo Deganutti et al. (2002) o biodigestor constitui-se principalmente de uma câmara fechada onde ficará o material orgânico e a campânula onde ficará o gás gerado após o material orgânico se decompor.

Existem biodigestores de produção contínua e de produção descontínua. Na produção contínua, o biodigestor é alimentado com biomassa gradativamente, e quando completo, o biofertilizante vai sendo retirado conforme mais biomassa é acrescentada. Já no modelo descontínuo, o biodigestor é alimentado com biomassa até sua capacidade total e depois fechado, voltando a ser aberto somente ao fim da produção de biogás, que pode levar até cerca de 90 dias (CASTANHO; ARRUDA, 2008).

O tempo de retenção da biomassa na câmara de fermentação geralmente varia de 30 a 60 dias, sendo que em temperaturas maiores esse tempo pode se aproximar mais de 30 dias e em temperaturas menores se aproximar mais de 60 dias (SEIXAS; FOLLE; MARCHETTI, 1981).

2.2.1 Digestão anaeróbica

“A biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição de matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio gerando o biogás e um resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante” (MACHADO, 2016). Ainda, para Machado (2016), biodigestão anaeróbica é um conjunto de reações bioquímicas que acontecem em sequência, mas também de maneira interdependente.

Nos biodigestores, a biodigestão anaeróbica ocorre nos tanques de fermentação. As técnicas ali aplicadas são fundamentais para o aumento da eficiência na produção do biogás e biofertilizante. (MACHADO, 2016)

2.2.2 Tipos de biodigestores

Existem ainda uma gama muito grande de biodigestores, sendo que cada um tem uma característica para se adaptar à realidade de cada local. Agora será tratado um pouco dos principais tipos de biodigestores utilizados em pequenas propriedades.

2.2.2.1 Modelo indiano

Esse modelo possui uma campânula como gasômetro, possui também uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, essa parede faz com que o material circule por todo interior da câmara de fermentação. (DEGANUTTI et al., 2002)

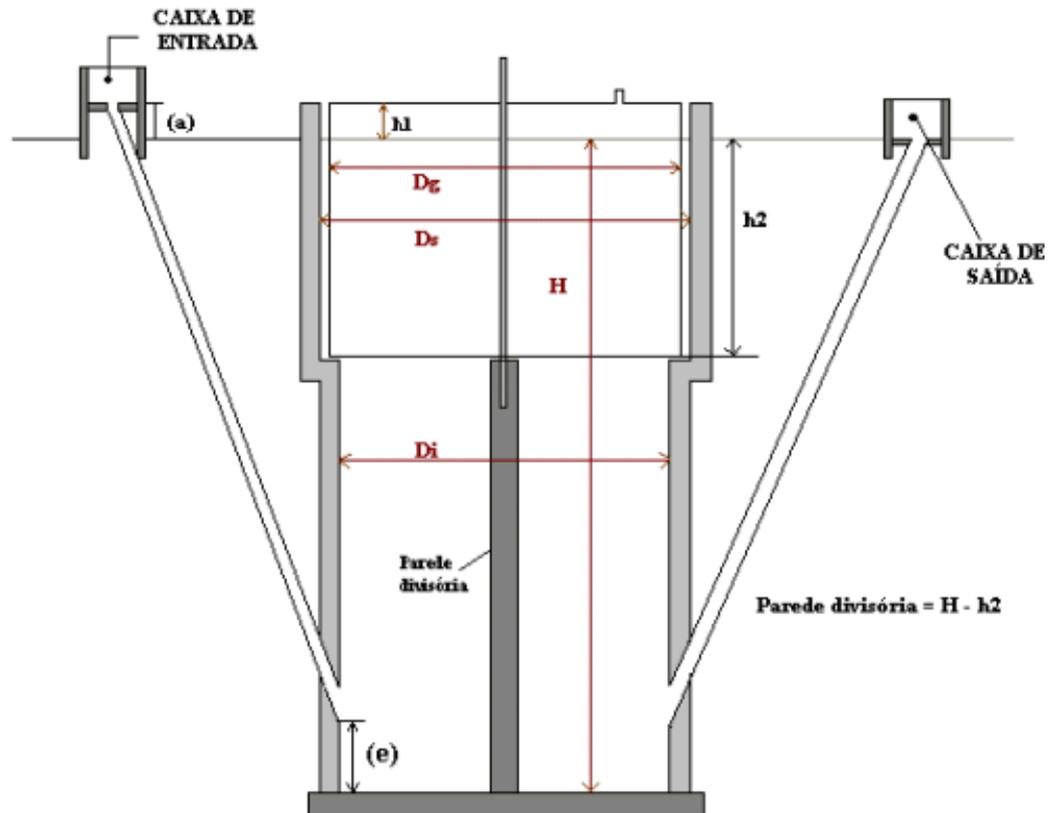
Segundo Deganutti et al. (2002) uma característica desse modelo é conseguir manter a pressão constante, conforme o volume de gás aumenta e ele não é utilizado o gasômetro se desloca verticalmente aumentando o seu volume e mantendo a pressão interna constante.

Deganutti et al. (2002) afirmam ainda que o resíduo utilizado para alimentar esse biodigestor não deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) acima de 8%, para facilitar a circulação deste no interior da câmara e também evitar o entupimento dos canos de entrada e saída. O abastecimento dele deve ser contínuo, por isso é uma boa escolha para dejetos bovinos que apresenta uma regularidade de dejetos.

Na Figura 2 abaixo é possível ver o esquema estrutural de um biodigestor do tipo indiano. A altura h_2 representa a altura útil do gasômetro, ela é responsável pelo controle da pressão interna do gás, quanto mais gás há no interior do gasômetro mais ele se deslocará para cima para manter a pressão. Também é possível ver a parede interna utilizada para forçar a

circulação dos dejetos no interior do biodigestor. Pode-se ver ainda como são dispostas as caixas de entrada e saída, sendo que quando o biodigestor estiver com sua máxima capacidade será pela caixa de saída que o biofertilizante será retirado.

Figura 2 – Estrutura de um biodigestor modelo Indiano



Fonte: Deganutti et al. (2002)

Onde:

- H** - é a altura do nível do substrato;
- Di** - é o diâmetro interno do biodigestor;
- Dg** - é o diâmetro do gasômetro;
- Ds** - é o diâmetro interno da parede superior;
- h1** - é a altura ociosa (reservatório do biogás);
- h2** - é a altura útil do gasômetro.
- a** - é a altura da caixa de entrada.
- e** - é a altura de entrada do cano com o afluente.

2.2.2.2 Modelo chinês

Outro tipo de biodigestor bastante utilizado é o modelo chinês, diferente do modelo indiano esse modelo dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, ele é formado por uma

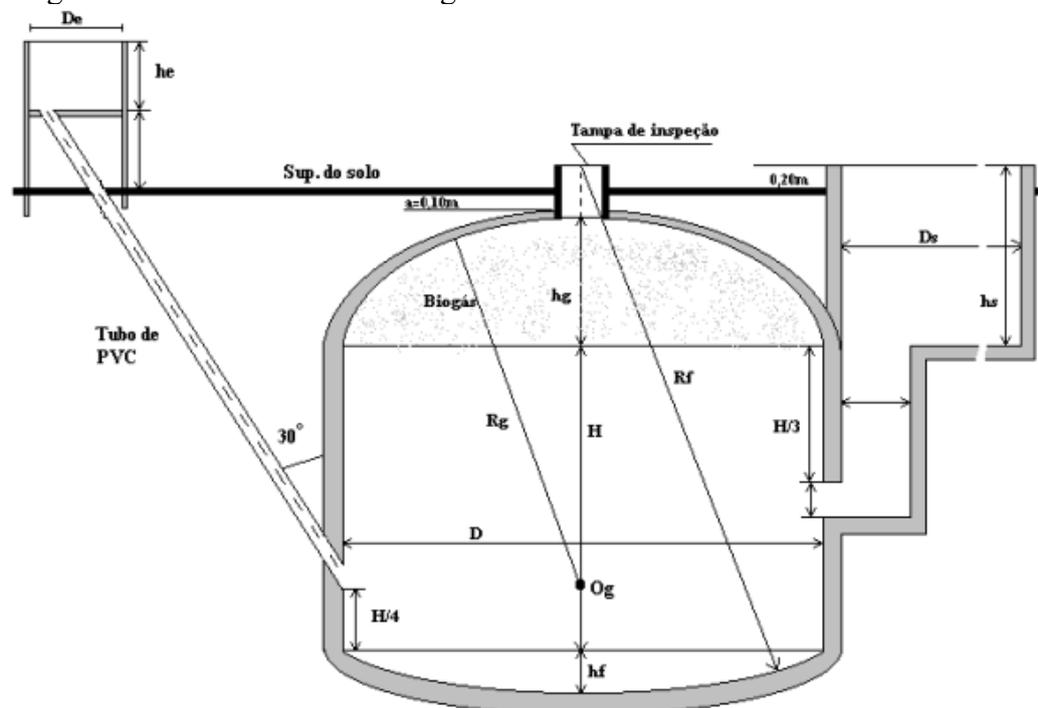
câmara circular em tijolo para a fermentação, com teto circular, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Diferente do modelo anterior onde a pressão era controlada pelo gasômetro, este biodigestor funciona com o mesmo princípio da prensa hidráulica, conforme o volume de biogás aumenta os resíduos da câmara de fermentação se deslocarão para a caixa de saída, e quando o volume de gás diminui ocorre o contrário (DEGANUTTI et al., 2002).

Como esse modelo é construído quase que totalmente em alvenaria seu custo é reduzido em relação a outros modelos, por outro lado, se sua estrutura não for bem vedada e impermeabilizada pode ocorrer problemas com vazamentos do biogás. Outro detalhe é que uma parte do gás formado na caixa de saída é liberado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, esse é um dos motivos pelo qual esse tipo de biodigestor não é usado para instalações de grande porte (DEGANUTTI et al., 2002).

Conforme Deganutti et al. (2002) a matéria orgânica deve ser fornecida continuamente, como no modelo indiano, e a concentração de sólidos totais deve estar em torno de 8%, para evitar o entupimento do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

A Figura 3 abaixo mostra a vista frontal em corte do biodigestor.

Figura 3 – Estrutura de um biodigestor modelo chinês



Fonte: Deganutti et al. (2002)

Onde:

D - é o diâmetro do corpo cilíndrico;

H - é a altura do corpo cilíndrico;

Hg - é a altura da calota do gasômetro;

- hf** - é a altura da calota do fundo;
- Of** - é o centro da calota esférica do fundo;
- Og** - é o centro da calota esférica do gasômetro;
- he** - é a altura da caixa de entrada;
- De** - é o diâmetro da caixa de entrada;
- hs** - é a altura da caixa de saída;
- Ds** - é o diâmetro da caixa de saída;
- A** - é o afundamento do gasômetro;

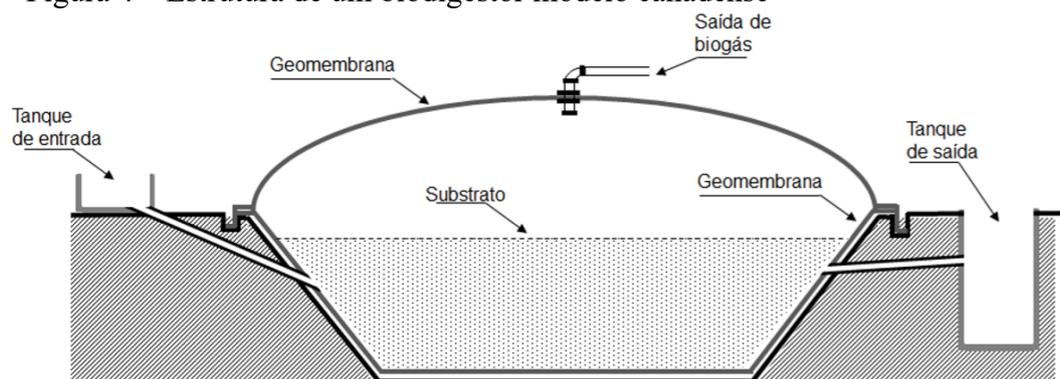
2.2.2.3 Modelo canadense

Segundo Pereira, Demarchi e Budiño (2008) a região sul é a região com maior número de biodigestores implantados em propriedades rurais, sendo que o biodigestor do tipo canadense é o mais utilizado.

Eles são formados por um tanque de alimentação, para onde irão os dejetos vindos dos galpões, um tanque (câmara de fermentação, que diferente dos outros modelos esse é revestido por uma geomembrana de alta densidade), onde ficará o material orgânico, um gasômetro inflável também de geomembrana, onde ficará o biogás, e um tanque de saída, onde é feita a retirada do biofertilizante. A saída do gás fica no topo do gasômetro (NOGUEIRA et al., 2016).

Na Figura 4 abaixo é possível ver a semelhança desse modelo com os demais.

Figura 4 – Estrutura de um biodigestor modelo canadense



Fonte: Nogueira et al. (2017)

Outra mudança que torna esse modelo atrativo é por ser um modelo horizontal, possuindo a largura maior que a profundidade, possibilitando uma área maior de exposição ao sol, possibilitando assim uma grande produção de biogás e evitando entupimento (CASTANHO; ARRUDA, 2008).

Porém, um aspecto negativo desse modelo é a sua menor durabilidade quando comparado aos modelos Indiano e Chinês, também, podem ocorrer vazamentos de biogás mais facilmente caso a geomembrana que reveste o tanque apresente perfurações (LUCAS JUNIOR; SOUZA, 2009).

2.2.3 Dispositivo Gerador de Descarga

Dispositivo gerador de descarga é um equipamento que tem como objetivo aumentar a eficiência do biodigestor através da agitação e movimentação constante dos dejetos, bem como evitar que a parte sólida dos dejetos não acumulem no fundo do biodigestor, pois além de diminuir a eficiência de geração de biogás o acúmulo de dejetos sólidos no fundo do biodigestor pode acarretar na perda do equipamento devido ao entupimento do mesmo.

Esse dispositivo funciona com uma bomba de baixa capacidade que succiona o dejetos para um reservatório elevado, que quando cheio o reservatório automaticamente abre a válvula que promove a descarga de cerca de 500 litros em poucos segundos, essa descarga promove a brusca movimentação dos dejetos no interior do biodigestor, evitando que a parte sólida decante no fundo, permitindo a atuação das bactérias também em cima desses dejetos.

2.3 BIOGÁS

Como visto anteriormente, um dos produtos resultantes do uso do biodigestor é o biogás, agora será apresentado qual a composição do biogás e qual a sua equivalência energética em relação a outros produtos.

2.3.1 Composição do biogás

Segundo Sganzerla (1983) o biogás é resultado de uma mistura de gases, diz ainda que é um combustível com importante poder calorífico resultante da biodigestão anaeróbica de massas orgânicas.

A composição do biogás pode variar de acordo com o tipo de biomassa utilizado, mas na média é definido conforme na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Composição do biogás

Tipo de gás	%
Metano (CH ₄)	60 a 70
Gás carbônico (CO ₂)	30 a 40

Nitrogênio (N)	Traços
Hidrogênio (H)	Traços
Gás sulfídrico (H ₂ S)	Traços

Fonte: Sganzerla (1983)

Como é demonstrado na tabela acima, o metano é o principal componente do biogás, ele é um gás incolor, sem cheiro e altamente combustível, além de não deixar fuligem e outros sinais de poluição SGANZERLA, 1983).

Sun (2015) fornece dados numéricos sobre a quantia de outros componentes também presentes no biogás, como podemos ver na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Composição do biogás segundo Sun (2015)

Parâmetros	Unidades	Biogás de biodigestor
CH ₄	% mol	60 – 70
Hidrocarbonetos pesados	% mol	0
H ₂	% mol	0
CO ₂	% mol	30 – 40
H ₂ O	% mol	1 – 5
N ₂	% mol	0,2
O ₂	% mol	0
H ₂ S	PPM	0 – 1000
NH ₃	PPM	0 – 100

Fonte: Sun (2015)

Um dos principais problemas causados por essas impurezas é a corrosão dos materiais metálicos, podendo danificar até mesmo o gerador. A Tabela 3 apresenta as consequências se essas impurezas não forem retiradas ou tratadas.

Tabela 3 – Impurezas e impactos do biogás

Impureza	Impacto
Água	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores devido à reação com H₂S, NH₃ e CO₂ formando ácidos; • Acumulação de água nas tubagens; • Condensação e/ou congelamento a pressões elevadas;
Poeiras	<ul style="list-style-type: none"> • Atascamento devido ao depósito em motores e tanques de armazenamento;

H2S	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores; • Concentração tóxica de H2S (>5 cm³ /m³) permanece no biogás; • SO₂ e SO₃ são formados quando da combustão, os quais são mais tóxicos que o H₂S e em conjunto com a água provocam corrosão;
CO₂	<ul style="list-style-type: none"> • Afeta o poder calorífico inferior;
Siloxanos	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de SiO₂ e micro cristais de quartzo durante a combustão; • Depósito em velas de ignição, válvulas e cabeças de cilindros provocando abrasão nas superfícies;
NH₃	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosivo quando dissolvido em água;
Cl-3	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em motores de combustão;
F	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em motores de combustão

Fonte: (RYCKEBOSCH et al., 2011)

O tratamento dessas impurezas acontece por meio de vários processos, considerando fatores econômicos, processuais, qualidade e valores pretendidos do biogás (RYCKEBOSCH, 2011).

2.3.2 Remoção do H₂S

O processo mais utilizado em plantas de pequeno e médio porte é através de Óxidos de Ferro devido ao baixo custo e a simplicidade. O processo de limpeza é simples e ocorre através da injeção do biogás por uma coluna de limalha de ferro oxidada (Fe₂O₃), reduzindo o ferro e purificando o biogás, sendo que o H₂S ficará retido ao reagir com o óxido de ferro, conforme Equação 1 (BUI et al, 2008).



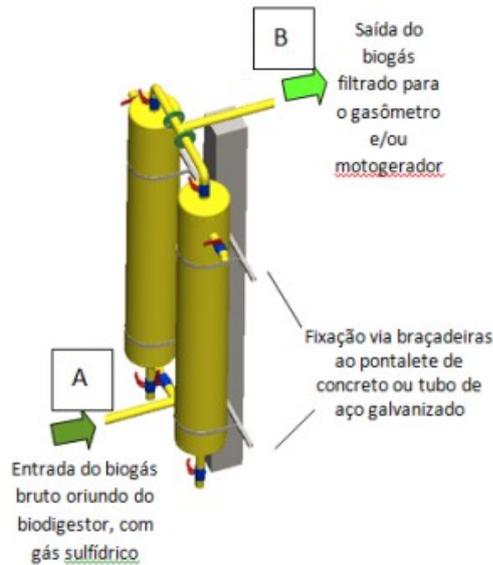
O Fe₂O₃ pode ser encontrado de diversas formas, como palha de aço, cavacos de usinagem, limalha de ferro. A Figura 4 representa o sistema de filtro contendo limalhas de ferro no seu interior para fazer a filtração.

Segundo Godoy Junior (2010), 1,66g de Fe₂O₃ absorve 1,0g de enxofre. Uma amostra de biogás tem em sua composição cerca de 3,6 g de H₂S por m³ de biogás. Logo, um biodigestor

pequeno produzindo 4 m³/h de biogás, necessita de um reator contendo 17,2 kg de limalha de ferro, a qual deve ser trocada ou regenerada a cada trinta dias (um mês).

Há outros métodos para remoção de do H₂S, porém não será entrado em detalhes por se tratar de procedimentos mais complexos e caros, não sendo adequado ao tamanho da planta tratada neste trabalho.

Figura 5 – Filtro de Limalha de Ferro



Fonte: Godoy Junior (2010)

2.3.3 Equivalência energética do biogás

Falando em termos de equivalência energética, o biogás pode ser um interessante combustível, a Tabela 4 apresenta a equivalência do biogás em relação a outros combustíveis:

A porcentagem de metano que compõem o biogás afeta diretamente no seu poder calorífico, podendo variar de 5.000 kcal a 7.000 kcal por metro cúbico. Caso todo gás carbônico seja eliminado da mistura, esse poder calorífero pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico (DEGANUTTI et al., 2002).

Tabela 4 – Composição do biogás

Um metro cúbico de biogás é igual a:
0,613 litros de gasolina comum
0,632 litros de gasolina de avião
0,579 litros de querosene
0,553 litros de óleo Diesel
0,454 Kg. De gás GLP (Gás de cozinha)

1.538 kg. De lenha (10% de umidade)
0,535 Kg. De carvão vegetal
0,735 Kg. De carvão metalúrgico (Santa Catarina)
0,790 litros de álcool hidratado
1.428 kwh de energia elétrica

Fonte: Sganzerla (1983)

2.4 BIOMASSA

Biomassas são as matérias orgânicas capazes de produzir biogás, todas as massas que sofrem a ação das bactérias metanogênicas são capazes de produzir o biogás, umas com mais capacidade outras com menos, isso depende de diversos outros fatores (SGANZERLA, 1983).

A biomassa que será utilizada nesse trabalho será de dejetos bovinos, a Tabela 5 quantidades estimadas de produção de dejetos por diferentes animais:

Tabela 5 – Quantidade estimada de dejetos gerados por dia

Espécie animal	Esterco por animal/dia(kg)
Caprino/Ovino	0,5
Vaca leiteira	25
Bezerro	2
Boi	15
Suíno	4

Fonte: Winrock (2008)

Como já falado acima, cada biomassa apresenta uma capacidade de geração de biogás diferente, a tabela 6 mostra a quantidade de biogás gerada por diferentes tipos de biomassa:

Podemos definir então a geração de biogás para dejetos bovinos como 0,04 m³ de biogás por kg de dejetos bovinos fresco.

Tabela 6 – Geração de biogás para diferentes biomassas.

Material	Produtividade (m ³ /kg)	Material	Produtividade (m ³ /kg)
Esterco bovino, fresco	0,04	Resíduos vegetais, secos	0,30
Esterco de galinha, seco	0,43	Resíduo de matadouro (úmido)	0,07
Esterco suíno, seco	0,35	Lixo	0,05

Fonte: Nogueira, (1986).

2.5 BIO FERTILIZANTE

O conceito adotado pelo Regulamento Nacional define biofertilizante como:

Produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante (BRASIL, 2004).

Segundo Matos (2016), a aplicação do biofertilizante no solo pode melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, melhorando a produtividade e tendo um papel fundamental no aumento de produção.

Silva et al. (2012), avaliaram o rendimento da produtividade de inhame com a presença e ausência de biofertilizante, chegando a ganhos de até 15,4% quando a aplicação foi feita nas folhas quando comparado com o esterco bovino cru.

Pode-se perceber então que o biofertilizante proveniente da digestão anaeróbica do biodigestor tem uma eficiência muito maior que o esterco bovino cru, sendo mais um ponto forte na instalação de biodigestores, e rendendo economia pois substitui o uso de fertilizantes químicos.

2.6 MATRIZ ENERGETICA BRASILEIRA

A matriz elétrica brasileira em 2018 contou com 83,3% de participação de fontes renováveis na matriz da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE). Essa grande participação de fontes renováveis não é vista em todo mundo, sendo que a média mundial de oferta de energia elétrica vindas de fontes renováveis em 2018 ficou em apenas 26,2%. Isso se deve ao fato do Brasil ter uma forte presença de energia hidráulica, tendo em 2018, 66,6% de sua geração vinda através de energia hidráulica, enquanto a média mundial ficou em 16,7% (MME, 2019).

A Tabela 7 apresenta a capacidade instalada de geração elétrica de 2017 e dezembro de 2018. Nela pode-se ver um grande crescimento da capacidade de geração renovável e uma diminuição na geração de energia elétrica através de combustíveis fósseis.

Ainda na Tabela 7 é possível ver que a capacidade de geração através de biomassa corresponde a apenas 9% do total instalado no Brasil, ainda, falando de geração através do biogás a capacidade fica em apenas 0,1% do total instalado no Brasil.

A geração através de biogás de 2017 para 2018 aumentou em somente 5MW, enquanto o aumento total foi de 5.861MW, o maior crescimento foi em hidroelétricas, seguido por eólica e solar.

Quando falamos em geração distribuída a energia solar é a que mais se destaca e atualmente vem crescendo rapidamente, em 2017 se tinha 210MW de potência instalada de energia solar, em dezembro de 2018 essa potência chegou em 498MW, representando 82,8% da potência instalada de geração distribuída, enquanto a geração distribuída através de geração térmica em dezembro de 2018 estava em apenas 37MW.

Tabela 7 – Capacidade Instalada de Geração Elétrica – dez/2018

Fonte	2017	2018	Estrutura % de 2018	Expansão n-(n-1) MW
Hidroelétrica	100.303	104.139	63,7	3.836
UHE	94.662	98.287	60,1	3.625
PCH e CGH	5.641	5.852	3,6	211
Biomassa	14.716	14.790	9,0	74
Bagasso de Cana	11.368	11.368	7,0	0
Biogás	135	140	0,1	5
Lixívia e outros	3.214	3.282	2,0	69
Eólica	12.283	14.390	8,8	2.107
Solar	935	1.798	1,1	862
Urânio	1.990	1.990	1,2	0
Gás	14.878	15.285	9,4	407
Gás natural	12.980	13.417	8,2	436
Gás industrial	1.898	1.868	1,1	-29
Óleo	8.808	7.549	4,6	-1.259
Óleo combustível	4.057	3.363	2,1	-694
Carvão Mineral	3.324	2.859	1,7	-466
Desconhecidos	132	41	0	-91
Subtotal	157.370	162.840	99,6	5.470
Geração distribuída	210	610	0,4	391
Solar	161	498	0,3	337
Eólica	10	10	0,0	0
Hidro	16	56	0,0	40
Térmica	23	37	0,0	14
Total Nacional	157.580	163.441	100	5.861
Dos quais renováveis	128.580	135.759	83,1	7.179
Com Importação	163.430	169.291		

Fonte: MME (2019)

2.7 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA

Na geração de energia elétrica o parâmetro de maior interesse é a eficiência de conversão de biomassa ou biocombustível em energia elétrica. Na tabela 8 são apresentados os valores de rendimento para 5 tecnologias de geração com suas respectivas biomassas (TOLMASQUIM, 2016).

Como se pode ver na tabela 8, a tecnologia empregada na geração de energia elétrica através de biogás na pecuária é através de um conjunto motogerador. Segundo Tolmasquim (2016) essa tecnologia apresenta uma eficiência elétrica que varia de 29,7% até 37% para equipamentos de 100kW até 5MW de potência.

Portanto, a tecnologia a ser explorada nesse trabalho será a de motogeradores, visto que a biomassa será convertida em biogás.

Tabela 8 – Fontes de biomassa e eficiências típicas para tecnologias de geração de bioeletricidade

Tecnologia	Biomassa	Rendimento (%base PCI)
Cogeração		
Ciclo Vapor com Condensação e Extração	Apenas bagaço durante a safra (70% do bagaço total)	12,7
Ciclo à Gás com Ciclo Combinado (BIG-GTCC)		30
Geração Elétrica		
Ciclo Vapor com Condensação	Biomassa excedente da cana Bagaço excedente (30%) Ponta e Palha	20
Ciclo à Gás com Ciclo Combinado (BIG-GTCC)	Biogás de vinhaça Lenha de florestas energéticas Resíduos agrícolas	34
Conjunto Motogerador	Biogás de resíduos da pecuária e urbano	37,2

Fonte: TOLMASQUIM (2016)

Os conjuntos motogeradores são motores de combustão interna acoplados a geradores elétricos, portanto o motor gira, girando também o gerador e assim gerando a energia elétrica. Os motores usados para biogás devem ser do Ciclo Otto, esse modelo também é utilizado para etanol, gás natural e gasolina, para Diesel o motor utilizado é do Ciclo Diesel (TOLMASQUIM, 2016).

Tolmasquim (2016) ainda diz que apesar de tradicionalmente os motores do Ciclo Diesel serem mais utilizados, atualmente em razão de questões ambiental, especialmente pelas emissões de NOx e material particulado, o uso desses motores tem sido reduzido gradativamente nos Estados Unidos e em outros países industrializados. Em consequência,

motores de Ciclo Otto para gás natural, como também biogás, passam a ser cada vez mais usados.

A Figura 6 mostra a imagem de um motogerador Bioflex, que opera com biogás e com álcool, esse modelo é um modelo de pequeno porte, com potência de 10kVA, devido à baixa capacidade de geração, também é recomendado para pequenas quantias de biogás e para atender a uma baixa demanda de potência.

Figura 6 – Motogerador B4t-10000 Bioflex



Fonte: AGROADS (2019)

Já a Figura 7, apresenta um motogerador de grande porte, tendo uma potência de até 400KVA, ainda, segundo CHPBrasil (2019) esse modelo pode alcançar até 40% de eficiência, sendo esse uma excelente relação de consumo x potência gerada.

Figura 7 – Motogerador CHP400



Fonte: CHPBRASIL (2019)

2.8 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Os inversores de frequência estão cada vez mais presentes no ambiente industrial para controle de velocidade, torque, economia de energia e muitas outras aplicações (FRANCHI, 2009).

Os inversores de frequência são formados basicamente por uma ponte retificadora e dois capacitores de filtro, que alimentam um barramento CC, que por sua vez alimenta transistores IGBT's que são comandados através de uma lógica de controle, ligando e desligando-os de modo a alternarem o sentido da corrente que circula pelo motor. (RODRIGUES, 2007).

Figura 8 – Inversor de frequência WEG CFW300



Fonte: WEG (2020).

Segundo Rodrigues (2007), o dimensionamento do inversor é feito baseado na potência nominal do motor elétrico, facilmente combinado com o auxílio do catálogo do fabricante.

Ainda, segundo Rodrigues (2007), as principais vantagens de sistemas dotados de inversores são:

- Economia significativa de energia elétrica.
- Controle de velocidade, submetendo o conjunto a uma carga muito menor.
- Boa eficiência.
- Eliminação do transitório causado pelo acionamento e parada dos motores.
- Eliminação da alta corrente de partida e redução do pico de demanda (kVA).
- Operação simultânea com vários motores.

Outra característica dos inversores é a possibilidade de ter uma entrada em rede monofásica e ter na saída uma rede trifásica, podendo assim fazer o uso de motores trifásicos onde há somente uma rede monofásica.

2.9 CONEXÃO DE GERADOR A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Para falar sobre conexão do gerador de energia a rede de distribuição precisamos falar sobre o Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Ele é dividido em 11 módulos, e o módulo 3 detalha as etapas do acesso ao sistema de distribuição.

O módulo 3 tem como objetivo:

Estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão – DIT, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes (ANEEL, 2017).

A seção 3.7 do módulo 3 do PRODIST trata sobre o acesso de micro e minigeração distribuída, sendo o objetivo “Descrever os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica ao sistema de distribuição.” (ANEEL, 2017)

Para a central geradora, seja ela micro ou minigeração distribuída são obrigatórias somente fazer a solicitação de acesso e parecer de acesso. A solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante, ela deve conter o Formulário de Solicitação de Acesso de Micro ou Minigerador Distribuído constantes nos anexos II, III e IV da seção 3.7 do módulo 3 do PRODIST (ANEEL, 2017).

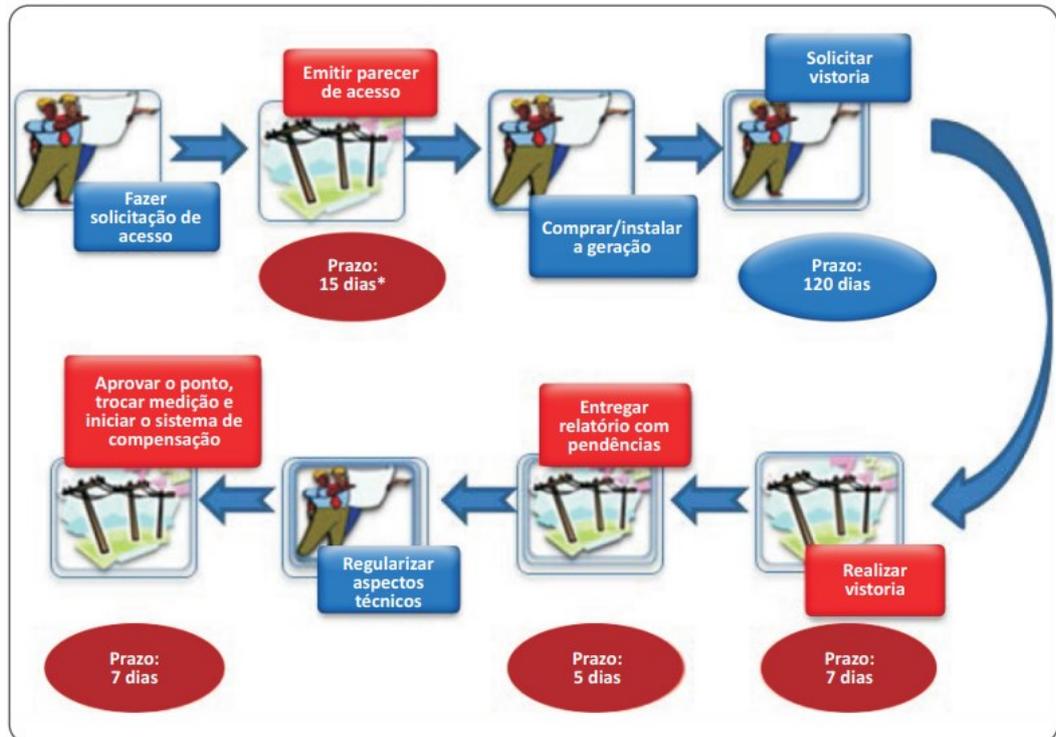
Caso a documentação (Formulário de Solicitação de Acesso de Micro ou Minigerador Distribuído) esteja incompleta, a distribuidora deve recusar imediatamente o pedido de acesso e notificar o acessante, devendo este, regularizar todas as pendências e realizar uma nova solicitação (ANEEL, 2017).

Após aceita a solicitação, a distribuidora deve apresentar o parecer de acesso, documento formal obrigatório e sem ônus para o acessante, esse documento contém as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos que permitem a conexão com os respectivos prazos (ANEEL, 2017).

O prazo para a concessionária fornecer o parecer de acesso é de 15 dias para microgeração e 30 dias para minigeração, sendo dobrado esse tempo caso seja necessária a execução de alguma obra de reforço ou ampliação no sistema de distribuição (ANEEL, 2017).

A Figura 9 mostra as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor (em azul) e pela distribuidora (em vermelho).

Figura 9 – Procedimentos e etapas de acesso



Fonte: ANEEL (2016)

2.9.1 Sistema de Proteção

Outro ponto a ser tratado é sobre as proteções mínimas necessárias na conexão com a rede de distribuição, essas proteções mínimas estão regulamentadas pelo PRODIST também, e podem ser encontradas no módulo 3.

O sistema de geração particular não poderá provocar qualquer distúrbio, problema técnico ou de segurança na operação do sistema elétrico da concessionária e/ou às outras unidades consumidoras.

Na Tabela 9 apresenta as proteções mínimas necessárias conforme o nível de potência instalado, para centrais geradoras que se enquadram no sistema de geração distribuída.

Tabela 9 – Proteções mínimas necessárias para conexão à rede elétrica.

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA INSTALADA		
	Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW

Elemento de desconexão ⁽¹⁾	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção ⁽²⁾	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim ⁽³⁾	Sim ⁽³⁾	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim ⁽³⁾	Sim ⁽³⁾	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional ⁽⁴⁾	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

Notas:

(1) Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema, exceto para microgeradores e minigeradores que se conectam à rede através de inversores, conforme item 4.4 da seção 3.7 do Prodist.

(2) Elemento de interrupção automático acionado por proteção para microgeradores distribuídos e por comando e/ou proteção para minigeradores distribuídos.

(3) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletro-eletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.

(4) O sistema de medição bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede.

Fonte: (ANEEL, 2017)

2.10 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa n° 482/2012, desde então o consumidor pode realizar a troca de energia gerada (através de fontes renováveis ou cogeração qualificada) com a rede e ser compensado pela energia injetada na rede (ANEEL, 2012).

O Art. 1° da resolução estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

No Art. 2° incisos I e II foram feitas as definições de micro e minigeração distribuída.

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na

rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

A partir desses conceitos é possível definir que a geração de energia através do biogás, que é um tipo de geração de energia renovável, se encaixa na geração distribuída, desde que a geração seja menor que 5MW.

O Art. 6º da Resolução Normativa nº 482 defini quais consumidores podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica. No inciso I temos, “I – com microgeração ou minigeração distribuída” (ANEEL, 2012).

Porém, essa compensação tem um limite máximo em que o consumidor pode utilizar, e isso é visto no §1º do Art.6º.

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses (ANEEL, 2012).

Após o período de 60 dias o consumidor perde o direito de consumir a energia convertida em créditos, isso é regulamentado pelos incisos XII e XIII do Art. 7º da Resolução Normativa nº 482.

XII - os créditos de energia ativa expiram em 60 (sessenta) meses após a data do faturamento e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo (ANEEL, 2012).

XIII - eventuais créditos de energia ativa existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor devem ser contabilizados pela distribuidora em nome do titular da respectiva unidade consumidora pelo prazo máximo de 60 (sessenta) meses após a data do faturamento, exceto se houver outra unidade consumidora sob a mesma titularidade e na mesma área de concessão, sendo permitida, nesse caso, a transferência dos créditos restantes (ANEEL, 2012).

Portanto, a geração distribuída se torna muito interessante para quem deseja gerar sua própria energia, como o caso deste trabalho. Com a geração distribuída é possível gerar a própria energia, e se a energia gerada ultrapassar a que está sendo consumida pode-se injetar o excedente na rede da concessionária e gerar créditos para o consumidor, sendo que esses créditos poderão ser usados em momentos que a geração não consegue suprir a carga interna, tendo um prazo de 60 meses para fazer uso dos créditos.

3 METODOLOGIA E RESULTADOS

Este capítulo é destinado para demonstrar a metodologia utilizada para coleta de dados utilizados para determinar a quantia de biogás que será possível gerar nessa propriedade como também apresentar os cálculos e resultados que resultará dessa geração de biogás. Com esses dados será possível definir se o projeto é viável técnica e economicamente para ser implantado

3.1 QUANTIA DE DEJETOS PRODUZIDA DIARIAMENTE DISPONÍVEL PARA USO DO BIODIGESTOR

Conforme visto anteriormente, o sistema de criação nessa propriedade é o semi-intensivo, com esse estilo de criação a quantia de dejetos que fica disponível para o uso no biodigestor diminui, pelo fato dos animais ficarem confinados somente no período da ordenha dos mesmos. Nas referências consultadas e apresentadas no Capítulo 2 todos os valores de dejetos gerados diariamente ficaram acima da quantia real para essa propriedade. Isso se deve ao fato de esta propriedade não ter os animais confinados 24 horas por dia, como também devido a raça Jersey ser de menor porte, como também a questões relacionadas a dieta dos animais.

Para determinar a quantia de dejetos produzida por dia foi feito o recolhimento de todos dejetos e pesados em uma balança mecânica, não é preciso um nível de precisão muito elevado, pois a quantia de dejetos é variável, pois cada dia os animais podem gerar uma quantia de biomassa diferente.

Após a pesagem chegamos a um valor aproximado de 360Kg de dejetos sólidos, essa quantia de dejetos é proveniente das fezes de 60 animais, totalizando uma geração de aproximadamente 6Kg/dia/animal, valor bem distante do visto no capítulo 2, onde se tinha uma geração estimada de 25Kg/dia/animal.

Pauletti (2004) descreve a quantidade de dejetos produzidos por dia por bovinos com peso de 453 Kg, sendo 23,5 Kg de esterco e 9,1 kg de urina.

Para determinar a quantia de urina produzida pelos animais será utilizado como base os dados de Pauletti (2004), será feito uma relação entre a quantia de dejetos por dia encontrada por Pauletti (2004) com a quantia de dejetos do caso em estudo para achar a quantia de urina esperada para essa quantia de esterco.

Na Equação 2 baixo temos uma regra de três relacionando a quantia de dejetos e urina encontrada por Pauletti (2004) com os valores reais para a nossa situação, sendo que X é o valor de urina a ser encontrado.

$$\begin{array}{l} 23,5 \text{ ——— } 9,1 \\ 6 \text{ ——— } X \end{array} \quad (2)$$

Fazendo a multiplicação em x:

$$23,5X = 54,6$$

$$X = 2,32 \text{ Litros}$$

Resolvendo a Equação 2 é obtido o valor estimado de urina que será gerada por dia, que é de 2,32 litros por animal.

Acrescentando a quantia de urina aos dejetos é obtido o valor total de aproximadamente 500Kg de dejetos por dia que estarão no galpão para geração de energia, os demais dejetos ficam espalhados pelo solo da propriedade devido ao sistema de criação já visto anteriormente.

É preciso definir também a quantia de água utilizada para a lavação do ambiente, para posteriormente dimensionar o tamanho da câmara de fermentação necessária para armazenar os dejetos. Para medir a quantia de água utilizada foi feito uma estimativa do tempo gasto diariamente com o jato ligado para a lavação, que segundo o responsável pela lavação é em média 15 minutos. Após isso foram feitas 3 coletas de dados da vazão de água, conforme Figura 10, para isso foi utilizado um galão de 20 litros e medido com o uso de um cronometro o tempo que o jato precisava para encher o galão, os valores encontrados em cada medição estão na Tabela 10.

Tabela 10 – Amostra de tempo para obter vazão do jato.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Tempo médio
Tempo para encher	27,5 s	28 s	27,6 s	27,7 s

Fonte: Do autor (2020)

Como apresentado na Tabela 10 o tempo médio para encher 20 litros foi de 27,7 segundos, com esse dado é possível calcular a vazão por minuto do jato, conforme Equação 3:

$$\begin{array}{l} 20 \text{ litros ——— } 27,7 \text{ segundos} \\ X \text{ Litros ——— } 60 \text{ segundos} \end{array} \quad (3)$$

Multiplicando em x é obtido o valor de vazão por minuto do jato, que é de aproximadamente 43 litros por minuto.

Multiplicando a vazão por minuto pelo tempo médio gasto para a lavação, que segundo o responsável da lavação é de 15 minutos com o jato ligado, temos o total de água gasta diariamente para a lavação, que é a multiplicação da vazão de água por minuto vezes o tempo gasto na lavação, conforme Equação 4:

$$43 \text{ L/min} \times 15 \text{ min} = 645 \text{ Litros} \quad (4)$$

Figura 10 – Coleta de água para determinar a vazão.



Fonte: Do autor (2020)

3.2 QUANTIA DE GÁS GERADA DIARIAMENTE

Com a quantia de dejetos que é produzida diariamente definida, será calculado a quantia de gás que é possível ser gerada diariamente com os dejetos. O tipo de biodigestor a ser usado vai ser o de alimentação contínua, e todo dia será feito a lavação e enviado os dejetos para o biodigestor, caracterizando um biodigestor modelo alimentação contínua. Conforme visto anteriormente no Capítulo 2 que a geração de biogás diária através de dejetos bovinos é de $0,04\text{m}^3$ por Kg de dejetos fresco. Multiplicando esse valor pelos 500Kg de dejetos que são produzidos diariamente é obtido um valor de 20m^3 de gás por dia. Como apresentado no Capítulo 2, a porcentagem de metano que compõem o biogás fica em torno de 60 a 70%, sendo que os outros 30 a 40% são de gás carbônico. Essa porcentagem afeta diretamente no seu poder calorífero, podendo variar de 5.000 kcal a 7.000 kcal por metro cúbico.

Conforme Sganzerla (1983) cada m^3 de biogás pode gerar 1,428 kWh de energia elétrica, portanto em teoria será possível gerar cerca de 28 kWh por dia, totalizando 850kWh por mês. Porém ainda é necessário definir o gerador que será utilizado para poder estimar com mais precisão a quantia de energia elétrica que será gerada.

3.3 DEFINIÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Como apresentado no capítulo 2, há vários tipos diferentes de biodigestores, já foram apresentados anteriormente quais são os principais usados e suas características. O modelo mais utilizado para a região é o modelo Canadense e foi o escolhido para o projeto em questão.

Uma característica interessante que ajudou na definição desse modelo é por ser um biodigestor de modelo horizontal, o que possibilita um melhor aproveitamento do sol para aquecer os dejetos, favorecendo a uma maior geração de biogás.

A Figura 11 demonstra como é o modelo de biodigestor canadense, que consiste em uma vala aberta no chão revestida por uma manta Geotextil onde é acomodado o biodigestor que receberá os dejetos e armazenará o biogás.

Após o período de retenção ser completo o dejetos adicionado empurra o dejetos existente dentro do biodigestor para fora, nesse caso já como biofertilizante, que será armazenado em outra lagoa revestida por uma manta de PVC até ser utilizado, geralmente usado no próprio terreno como fertilizante.

Figura 11 – Biodigestor Canadense.



Fonte: Recolast (2020)

3.3.1 Câmara de Fermentação

A Câmara de Fermentação é responsável por armazenar a biomassa por todo período em que essa biomassa está se decompondo e gerando biogás, como apresentado anteriormente esse período pode variar geralmente em torno de 30 e 60 dias. Como a região sul apresenta temperaturas inferiores, será adotado como tempo de retenção 60 dias, com isso, será definido o tamanho da câmara de fermentação necessário, sendo que ela será abastecida diariamente pela quantia de dejetos já calculada anteriormente.

Conforme visto acima a quantia de água gerada diariamente é de 645 litros e a quantia de dejetos 500kg. Para fins de dimensionamento se utilizará uma quantia de 1,145m³ por dia, que é a soma da água com a quantia de dejetos gerada diariamente. Multiplicando isso pelo tempo de retenção de 60 dias temos o valor de 68,7m³, que é o tamanho que deverá ter a câmara de fermentação do sistema.

3.3.2 Dimensionamento Dispositivo Gerador de Descarga

Como visto no capítulo 2, para o melhor funcionamento do biodigestor é preciso o uso de um dispositivo para fazer a agitação dos dejetos no interior do biodigestor, esse dispositivo trata-se de uma bomba autoescorvante, que fica responsável por transferir os dejetos do fundo do biodigestor para o reservatório elevado que será aberto após cheio para fazer a agitação.

Essa bomba é ligada na rede elétrica, e por isso tem um gasto de energia que deve ser considerado. A bomba tem potência de 1CV, o equivalente a 735,499W, e ficará ligada cerca 2 horas por dia (intervalos de 5 minutos a cada hora). Com esses dados pode-se estimar o consumo mensal de energia que terá a bomba pela Equação 5.

$$C = P * h * d \quad (5)$$

Onde:

C = Consumo mensal kWh.

P = Potência da bomba kW.

h = Horas ligada por dia.

d = Dias por mês.

Resolvendo a equação 5 temos:

$$C = 0,735499 * 2 * 30$$

$$C = 44,13kWh/mês$$

Chega-se então um consumo mensal de aproximadamente 45kWh relacionado a esse dispositivo que anteriormente não existia, será um gasto adicional que posteriormente será levado em consideração para a análise econômica do sistema.

3.4 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

A partir do que foi visto no capítulo 2 sobre formas de geração de energia através do biogás o modelo mais adequado de geração para este caso é a partir de um conjunto motogerador, devido a sua grande eficiência em consumo x potência, visto ainda que é uma tecnologia mais simples e indicada também para pequenas quantias de biogás.

O gerador utilizado no projeto é um gerador da marca Branco de 9,5kVA de potência máxima e 8,0kVA de potência nominal, é um gerador monofásico com saída 220V e um consumo de 4,0m³ de biogás por hora de trabalho.

Figura 12 – Gerador Bioflex 9,5kVA



Fonte: Branco (2020)

Com esse consumo o gerador pode operar por 5 horas em potência nominal diariamente, pois a quantia de biogás disponível é de 20m³. A geração de energia elétrica mensal pode ser obtida pela equação 6:

$$P = Pn * \phi * h * d \quad (6)$$

Onde:

E= Energia elétrica Mensal (kWh)

Pn= Potência nominal (kVA)

Φ = Fator de potência do Gerador

h= Horas de geração diária

d= Dias no mês

Resolvendo a equação 5 temos:

$$E = 8(kVA) * 0,8 * 5h * 30dias$$

$$E = 960kWh/mês$$

Obtém-se então a geração mensal de 960kWh de energia elétrica mensal, ou 32kWh de energia diariamente, valor um pouco acima do valor estimado por Sganzerla em 1983.

Porém há ainda o consumo adicional do dispositivo gerador de descarga do biodigestor que antes da instalação não existia. Esse consumo já foi estimado anteriormente em aproximadamente 45kWh/mês, que será diminuído do total gerado para posteriormente fazer a análise econômica, sendo assim, a geração que renderá lucro ao produtor será a energia gerada menos a energia consumida pelo biodigestor, conforme equação abaixo:

$$Et = E - C \quad (6)$$

Onde:

Et= Energia total aproveitada.

E= Energia gerada.

C=Consumo do biodigestor.

Resolvendo a equação tem-se:

$$Et = 960 - 45$$

$$Et = 915kWh/mês$$

3.4.1 Definição do inversor de frequência

O gerador estará conectado à rede de energia da concessionária local, configurando geração distribuída, porém em momentos de falta da rede da concessionária ele passará a ser

um gerador de *backup*, e abastecerá as cargas mais importantes do local. No caso de estudo, o gerador precisaria atender ao maquinário usado para ordenha dos animais e refrigerador para resfriar o leite. Sabe-se que o gerador vai ter uma autonomia de geração de 5 horas em potência nominal, e precisa abastecer as cargas especificadas na Tabela 11:

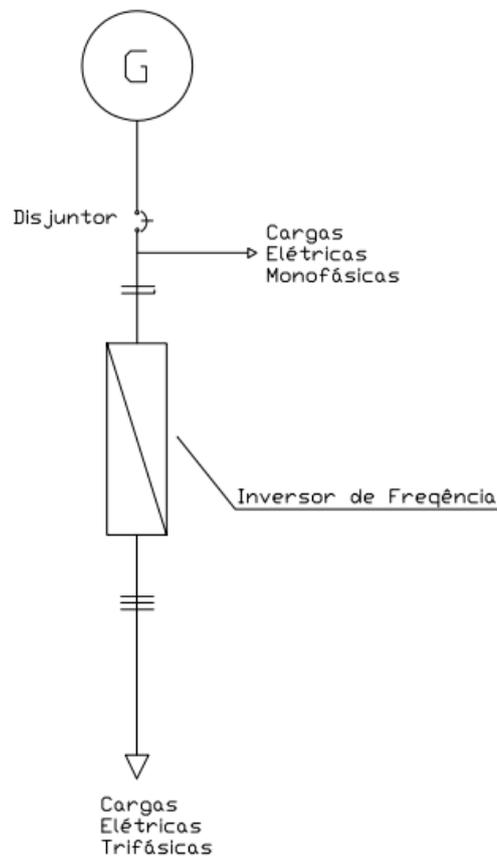
Tabela 11 – Equipamentos para abastecer em caso de falta.

Equipamento	Fase	Potência
Motor da ordenha	Trifásico	3kW
Bomba Transferidora do leite	Monofásica	1kW
Refrigerador	Trifásico	3,3kW

Fonte: Do autor (2020)

Como pode ser visto na tabela acima há cargas trifásicas que devem ser abastecidas diretamente pelo gerador em caso de falta da rede da concessionária, porém como já apresentado, o gerador escolhido é monofásico. Para contornar isso, será feito o uso de um inversor de frequência entre o gerador e as cargas, pois conforme visto no capítulo 2, o inversor de frequência consegue fazer a ligação de motores trifásicos mesmo com uma alimentação monofásica.

Figura 13 – Layout de ligação dos equipamentos.



Fonte: Do autor (2020)

O inversor escolhido foi o CFW300 da WEG do modelo CFW300B15P2T2DB20, com potência de até 5CV/3,7kW ligado em 220V monofásico. Pode-se perceber que não será possível o acionamento de todos os equipamentos juntos devido a potência máxima que inversor vai entregar ser de 3,7kW, porém isso não é um problema, visto que primeiro será usado o motor da ordenha e somente após a ordenha será ligado o refrigerador. Outro ponto a se observar é a bomba monofásica de 1kW, que será ligada diretamente no gerador, pois como é monofásica pode ser atendida diretamente não precisando fazer uso do inversor, configuração que permite o funcionamento de todos os equipamentos com as potências disponíveis do gerador e do inversor.

3.5 SISTEMA DE CONEXÃO COM A REDE

No capítulo 2 foi apresentado como deve ser feita a conexão do gerador a rede elétrica da concessionária, tendo em vista o conjunto de ações esperadas do sistema, geração de energia elétrica com propósito de redução da fatura de energia e a implementação de um sistema de emergência que será acionado em caso de falhas, as particularidades adotadas no projeto para atendimento as normas da concessionária serão apresentadas a seguir.

É de responsabilidade do acessante a proteção de seus equipamentos para geração de energia. A proteção do acessante deve ter a capacidade de detectar a desconexão do sistema da concessionária e atuar no sentido de impedir que o seu sistema de geração opere isolado, alimentando outros consumidores (proteção anti-ilhamento). O sistema de proteção deve desconectar os geradores em até 2 segundos após a perda da rede.

As proteções mínimas necessárias para atender as normas da concessionária para um gerador síncrono a rede são:

- Função de sobrecorrente (50/51, 50/51N), com ajustes de curvas de acordo as normas IEC aplicáveis e ajustes das correntes de disparo, preferencialmente, com gravação de todos os eventos em memória não volátil, que deverá atuar quando ocorrer faltas internas na unidade consumidora;
- Função de sobrecorrente direcional de fase (67), para impedir que o sistema de geração particular possa alimentar uma falta na rede;
- Função de potência inversa (32) com temporização (62), evitando a ocorrência do fluxo reverso para a rede, durante o tempo permitido de paralelismo.
- Função de subtensão (27) com temporização (62) atuando quando ocorrer ausência de tensão na rede da Celesc, impedindo o fechamento do disjuntor de

interligação e no retorno da tensão iniciar a transferência de carga do gerador para a rede;

- Função de *check* de sincronismo (25), para verificação do sincronismo das fontes;
- Limitador de controle de tempo de rampa (troca de fontes): a taxa de rampa (kW/s) deve ser parametrizada para que a transferência contínua não ultrapasse a 15 segundos;
- Funções 81U e 81O (sub e sobre frequência).

As proteções deverão atuar dentro de valores pré estabelecidos pela concessionária, conforme segue Figura 14:

Figura 14 – Valores de ajustes de proteção para conexão de geradores síncronos.

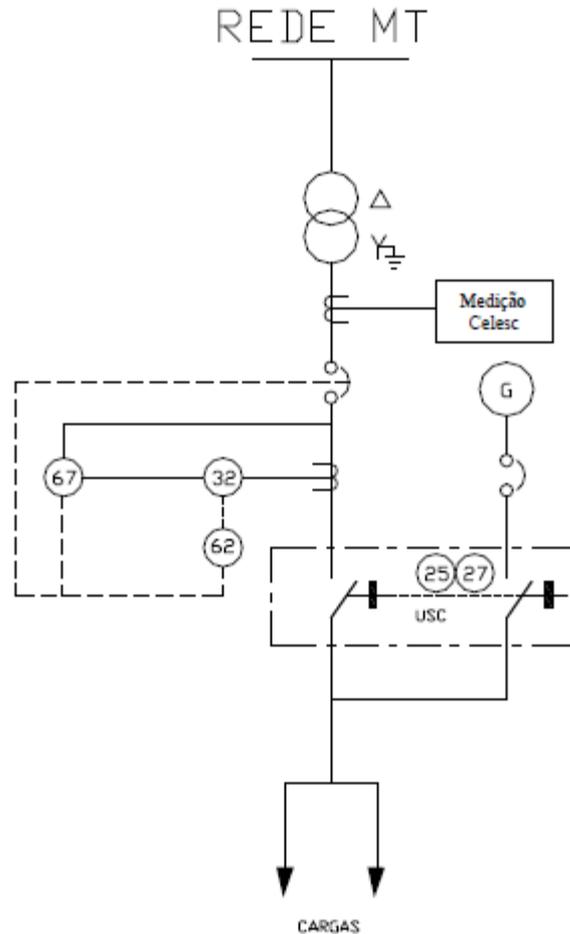
Requisito de Proteção	Parametrização (Referência)	Tempo Máximo de Atuação
Proteção de subtensão (27) Nível 1	0,85 pu	1,0 s
Proteção de subtensão (27) Nível 2	0,5 pu	0,2 s
Proteção de sobretensão (59) Nível 1	1,1 pu	1,0 s
Proteção de sobretensão (59) Nível 2	1,2 pu	0,2 s
Proteção desequilíbrio Tensão (59N) – (3V0)	1,0 pu	0,2 s
Proteção de subfrequência (81U) Nível 1	59,5 Hz	2,0 s
Proteção de subfrequência (81U) Nível 2	57,0 Hz	0,2 s
Proteção de sobrefrequência (81O) Nível 1	60,5 Hz	2,0 s
Proteção de sobrefrequência (81O) Nível 2	62,0 Hz	0,2 s
Taxa de variação de frequência (81 df/dt)	A definir no estudo	2,0 s
Proteção de sobrecorrente (50/51)	Conforme padrão de entrada de energia	N/A
Relé de sincronismo (25)	10° / 10 % tensão /	N/A
Anti-ilhamento (78)	A definir em estudo	Instantâneo
Direcional de potência (32)	Conforme potência instalada	Instantâneo

Fonte: Celesc (2020)

O esquema de ligação para instalação com potência de transformação igual ou inferior a 300kVA e transformador único, utilizando um disjuntor geral em baixa tensão e dois contadores para interligação e transferência de carga pode ser visto na Figura 15:

- Funções 32 (62) e 67 deverão atuar sobre o disjuntor geral de baixa tensão;
- *check* de sincronismo (25) e subtensão (27) deverão compor a USC (unidade de supervisão e controle de rampa) e atuar sobre os contadores em baixa tensão.

Figura 15 – Esquema de ligação do gerador a rede elétrica.



Fonte: Celesc (2020).

3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

A quantidade de energia gerada pelo biodigestor em questão foi estimada em 960kWh/mês, essa seria a economia estimada primeiramente para o produtor, porém há ainda outra economia secundária que não será estimada com um nível alto de precisão, que é o biofertilizante proveniente do fim do processo de digestão anaeróbica, que servirá como biofertilizante para a terra, diminuindo a necessidade de comprar adubos orgânicos além de outros benefícios.

Porém, é preciso definir os custos envolvidos para ser possível analisar a viabilidade econômica desse projeto. Em contato com uma empresa especializada em montagem de biodigestores foi recebido um orçamento com os materiais necessários para construir o biodigestor, como será visto na Tabela 12 juntamente com o motogerador e inversor de frequência já especificados anteriormente.

Tabela 12 – Custos envolvidos no projeto

Equipamento	Quant.	Un.	Preço Un.	Total
BIOD.TUBULAR(4 X 12) 156m3 (MANTA PVC)	1	PC	9.617,00	9.617,00
MANTA GEOTEXTIL	176,4	m ²	7,00	1.234,80
LAGOA AEROBICA (PVC 0,80mm)	196	m ²	29,52	5.785,92
Dispositivo Gerador Descarga	1	PC	8.500,00	8.500,00
Válvula de alívio	1	un	250,00	250,00
Flange 6 polegadas	4	un	44,00	176,00
Inversor WEG CFW-300 5CV	1	PC	1.163,00	1.163,00
Motogerador Bioflex Branco 9,5kVA	1	PC	18.870,00	18.870,00
Instalação	3	Di	850,00	2.550,00
Demais custos	-	-	1.000,00	1.000,00
TOTAL				49.146,72

Fonte: Do autor (2020)

Tabela 13 – Custos de manutenção (anual)

Equipamento	Quant.	Un.	Preço Un.	Total
Limalha de Ferro	64,5	Kg	6,00	387,00
Manutenção gerador	-	-	300,00	300,00
TOTAL				687,00

Fonte: Do autor (2020)

É preciso definir também o lucro gerado pelo sistema, geração de energia elétrica e biofertilizante. Como não foi obtido o valor exato do biofertilizante vamos estimar em R\$ 2.000,00/ano (dois mil reais por ano) a redução de outros insumos sendo que terá disponível a quantia de 182.500 Kg de esterco em forma de biofertilizante todo ano.

O preço do kWh pago hoje na propriedade é de 0,548 reais contando com todos os tributos, e o valor estimado recebido pelo kWh gerado é de 0,42 reais devido a taxas envolvidas no sistema de geração distribuída, com esses dados é possível definir qual será economia a obtida ao longo dos anos, considerando um reajuste de 6% no valor da energia todo ano. A Tabela 14 apresenta as receitas geradas pela geração de energia e o valor líquido presente dessas receitas e por fim o valor acumulado, resultando o tempo de *payback* do sistema.

Tabela 14 – Payback descontado

Ano	Fluxo de Caixa				Valor Presente	VP Acumulado
	Energia	Biofertilizante	Manutenção	Fluxo de Caixa		
0	-	-	-	-R\$ 49.146,00	-R\$ 49.146,00	-R\$ 49.146,00
1	R\$ 4.838,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 6.151,00	R\$ 5.971,84	-R\$ 43.174,16
2	R\$ 5.129,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 6.442,00	R\$ 6.072,20	-R\$ 37.101,95
3	R\$ 5.436,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 987,00	R\$ 6.449,00	R\$ 5.901,75	-R\$ 31.200,20
4	R\$ 5.763,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 7.076,00	R\$ 6.286,93	-R\$ 24.913,27
5	R\$ 6.108,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 7.421,00	R\$ 6.401,42	-R\$ 18.511,85
6	R\$ 6.475,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 987,00	R\$ 7.488,00	R\$ 6.271,08	-R\$ 12.240,77
7	R\$ 6.863,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 8.176,00	R\$ 6.647,84	-R\$ 5.592,93
8	R\$ 7.275,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 8.588,00	R\$ 6.779,45	R\$ 1.186,52
9	R\$ 7.712,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 987,00	R\$ 8.725,00	R\$ 6.686,99	R\$ 7.873,50
10	R\$ 8.174,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 9.487,00	R\$ 7.059,22	R\$ 14.932,72
11	R\$ 8.665,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 9.978,00	R\$ 7.208,32	R\$ 22.141,04
12	R\$ 9.185,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 987,00	R\$ 10.198,00	R\$ 7.152,67	R\$ 29.293,71
13	R\$ 9.736,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 11.049,00	R\$ 7.523,83	R\$ 36.817,54
14	R\$ 10.320,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 687,00	R\$ 11.633,00	R\$ 7.690,78	R\$ 44.508,33
15	R\$ 10.939,00	R\$ 2.000,00	-R\$ 987,00	R\$ 11.952,00	R\$ 7.671,53	R\$ 52.179,86

Fonte: Do autor (2020)

Na coluna 1 da tabela acima é apresentado o tempo estimado de vida útil do projeto, tempo que ele trará retorno. A coluna 2 apresenta o fluxo de caixa proveniente da geração de energia elétrica do biodigestor considerando reajuste anual de 6% no valor da tarifa da energia. Na coluna 3 é apresentado o valor agregado devido ao aproveitamento do biofertilizante. Na coluna 4 o valor gasto anualmente com a manutenção do biodigestor, sendo que a cada 3 anos é considerado um aumento no valor de manutenção para alguma manutenção que venha a existir no grupo gerador e/ou no biodigestor. Já na coluna 5 é apresentado o fluxo de caixa total, somando os fluxos de caixa das colunas 2 a 4.

A coluna 6 apresenta o Valor Presente Líquido que é o valor presente de um lucro futuro considerando que o dinheiro no futuro não valerá o mesmo que hoje, nesse cálculo foi considerado uma taxa de juros de 3% a.a.

Por fim, a coluna 7 exhibe o lucro líquido do nosso investimento (Lucro – Despesas) corrigido para o valor de hoje, tendo resultado então em um lucro de R\$ 52.179,86.

Pode-se ver na Tabela 14 que o tempo de *payback* ficou entre 7 e 8 anos, mais precisamente 7,82 anos. Aplicando o método da TIR se tem uma taxa de 13,68% a.a ao longo dos 15 anos de operação do sistema.

Há ainda a possibilidade de se optar por um financiamento tipo FINAME, foi realizado uma simulação para se ter outra opção de investimento. O financiamento tipo FINAME trabalha com a taxa de juros fixa de 3.9% a.a, com período de financiamento de até 10 anos, que será o usado na simulação. A parcela mensal foi de R\$ 495,247 que resulta em um pagamento de R\$ 5.942,96 por ano. A Tabela 15 apresenta o *payback* do sistema considerando a opção de financiamento e utilizando o método do VPL igual anteriormente considerando a mesma taxa de juros de 3% a.a para trazer fluxos futuros para valores atuais. Para simplificar já serão utilizados os fluxos de caixa encontrados na Tabela 14.

Tabela 15 – *Payback* descontado

Ano	Fluxo de Caixa			Valor Presente	VP Acumulado
	Energia + Biofertilizante - Custos manutenção	Financiamento	Fluxo de Caixa		
0	-	-	-	-	R\$ 0,00
1	R\$ 6.151,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 208,04	R\$ 201,98	R\$ 201,98
2	R\$ 6.442,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 499,04	R\$ 470,39	R\$ 672,37
3	R\$ 6.449,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 506,04	R\$ 463,09	R\$ 1.135,46
4	R\$ 7.076,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 1.133,04	R\$ 1.006,69	R\$ 2.142,15
5	R\$ 7.421,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 1.478,04	R\$ 1.274,97	R\$ 3.417,12
6	R\$ 7.488,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 1.545,04	R\$ 1.293,94	R\$ 4.711,06
7	R\$ 8.176,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 2.233,04	R\$ 1.815,66	R\$ 6.526,72
8	R\$ 8.588,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 2.645,04	R\$ 2.088,02	R\$ 8.614,74
9	R\$ 8.725,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 2.782,04	R\$ 2.132,20	R\$ 10.746,94
10	R\$ 9.487,00	-R\$ 5.942,96	R\$ 3.544,04	R\$ 2.637,10	R\$ 13.384,03
11	R\$ 9.978,00	R\$ 0,00	R\$ 9.978,00	R\$ 7.208,32	R\$ 20.592,35
12	R\$ 10.198,00	R\$ 0,00	R\$ 10.198,00	R\$ 7.152,67	R\$ 27.745,02
13	R\$ 11.049,00	R\$ 0,00	R\$ 11.049,00	R\$ 7.523,83	R\$ 35.268,86
14	R\$ 11.633,00	R\$ 0,00	R\$ 11.633,00	R\$ 7.690,78	R\$ 42.959,64
15	R\$ 11.952,00	R\$ 0,00	R\$ 11.952,00	R\$ 7.671,53	R\$ 50.631,17

Fonte: Do autor (2020)

Diferente da Tabela 14, na Tabela 15 mostra um investimento onde não é necessário realizar o pagamento do projeto todo no ano 0, sendo que o valor a ser quitado foi dividido em 10 anos com parcelas anuais de R\$ 5.942,96, sendo assim, já no primeiro o sistema obtém lucro, visto que o fluxo de caixa positivo é maior que o valor da parcela a ser paga, ainda, no fim dos 15 anos há uma diferença de menos de R\$ 2.000,00 reais no valor presente líquido do projeto, sendo que não foi preciso injetar nenhum dinheiro na realização do projeto.

4 CONCLUSÃO

A crescente demanda por energia elétrica em conjunto com a necessidade de nos tornarmos uma sociedade sustentável exige que recursos renováveis sejam empregados na geração de energia. Diante de cenário a utilização de biodigestores passa a ser uma ótima opção para o processamento de dejetos animais, eliminando a poluição do solo, ar e água, e proporcionando benefícios e rendimentos financeiros como a geração de energia pelo biogás e o biofertilizante para ser utilizado nos cultivos sem a poluição do solo.

Ainda há outros benefícios que foram inclusos no projeto, um deles é a possibilidade de continuar utilizando energia mesmo em caso de uma queda de energia, podendo manter as tarefas prioritárias e ficando menos refém da rede da concessionária, em especial no período do verão onde as quedas de energia são mais frequentes devido as tempestades. Visto que é necessário realizar a ordenha duas vezes por dia o produtor teria que aguardar o retorno da energia elétrica, situação que poderia causar aborrecimentos ou até mesmo perdas ao produtor pois não teria como fazer a ordenha dos animais e perderia o leite do dia.

Seria possível chegar a um valor ainda mais interessante de *payback* se for levado em conta que muitos produtores optam por comprar geradores a diesel para *backup* em quedas de energia, seria um custo que diminuiria para o produtor pois poderia estar utilizando diretamente o gerador a gás, com combustível gerado diretamente na propriedade.

Outro fator que influenciou no tempo de *payback* de pouco mais de 8 anos foi o preço de energia barato na região que ocorreu o estudo, sendo que a energia gerada irá gerar uma economia de 0,42 reais por kWh, há regiões onde o preço da energia custa 50% a mais, região essa que favorece a instalação de qualquer fonte de geração de energia.

Porém, há outra opção que é o financiamento, que pode ser visto como uma opção muito atrativa, visto que há retorno financeiro positivo desde o primeiro ano, tendo o tempo de *payback* igual a zero, portanto o lucro que o projeto gera é maior que o valor das parcelas financiadas, e o lucro final do investimento quase iguala ao projeto onde o pagamento é feito à vista.

Um ponto percebido ao longo das pesquisas foi que atualmente diminuiu muito as pesquisas na área de biodigestores, sendo que muitos fabricantes de geradores já não fabricam mais geradores a biogás, e quando fabricam são equipamentos de grande porte. Porém é visto que este é um mercado atrativo, porém que falta pessoas capacitadas na área para difundirem essa tecnologia no Brasil.

Este trabalho tinha como objetivo analisar tecnicamente e economicamente a geração de energia elétrica através de biodigestores na propriedade leiteira proposta, foi realizado pesquisas e projetado um sistema de biodigestores para a propriedade para geração de biogás e energia elétrica, como também o sistema de anti-ilhamento para gerar energia mesmo na falta de energia da rede da concessionária.

Pode-se concluir com base nas análises realizadas que o projeto é viável tanto técnica como economicamente, pois segundo o estudo é possível gerar energia elétrica a partir dos dejetos produzidos pelo rebanho da propriedade e a análise financeira se mostrou positiva ao produtor, sendo que o produtor pode optar por um financiamento onde as parcelas do financiamento são inferiores aos ganhos financeiros do projeto.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2. ed. Brasília: 2016. 31 p
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Brasil, 1 jun. 2017.
- AGROADS. **Gerador B4t-10000 Bioflex**. 2019. Disponível em: <https://www.agroads.com.br/gerador-b4t-10000-bioflex_64310.html>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- ALENCAR, J de. **Biogas, energia do meio rural para o meio rural**. [s. L.]: Cnpq, 1981. 11 p.
- ALVES, S. M.; MELO, C.F.M.; WISNIEWSKI, A. **Biogás: uma alternativa de energia no meio rural**. Belém, EMBRAPA/CPATU. (Miscelânea, 4), 1980.
- BRASIL. **Decreto nº 4.954**, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília, DF, 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm#ementa. Acesso em: 30 out. 2019.
- BUI, V.G. et al. **Small power engine fueled with biogas**. The University of Danang, 2008.
- CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. **Biodigestores**. IN: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. **Anais**. Ponta Grossa, 2008.
- CHPBRASIL. **CHP 400**. 2019. Disponível em: <<https://chpbrasil.com.br/produtos/chp400>>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R; SANTOS, C. **Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzv02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em 20 out. 2019.
- EDUCAPOINT. **Dejetos de bovinos: mais que um problema, uma oportunidade!** 2018. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/dejetos-de-bovinos-um-problema-ou-uma-oportunidade-104420n.aspx>>. Acesso em: 01 set. 2019.
- EMBRAPA GADO DE LEITE (Brasil). **Anuário Leite 2019: Sua excelência, o consumidor**. [s. L.], 2019. 104 p.
- FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de Frequência: teoria e aplicações**. [s. L.]: Saraiva Educação S.a., 2009. 229 p.

GODOY JUNIOR, E. **Estado da arte dos sistemas de dessulfurização, desumidificação e descarbonatação do biogás: panorama nacional e internacional**

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. de F. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa-MG, CTP, 2009.

MACHADO, G. B.; **Biodigestão anaeróbica**. 2016. Disponível em:<
<https://www.portalresiduossolidos.com>>. Acesso em: 26 out. 2019.

Matos, C. F. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção**, 2016. 66p

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasil). **Pecuária de Baixa Emissão de Carbono**. Brasília, 2018. 83 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019, Brasil. **Resenha Energética Brasileira**. [s. L.]: MME, 2019. 32 p

NOGUEIRA, A. C.; SILVA, E. M. C. A.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, J. N. **Projeto de unidade de bioenergia e tratamento de resíduos de abatedouros de aves de corte**. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. **Anais**. Campina Grande, 2016. 12 p..

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão A Alternativa Energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, F. E. L. **Biodigestores – Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. 2009. Disponível em:<
<http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1255981651.pdf>> Acesso em 22 out. 2019.

RODRIGUES, WLAMIR. “Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água”. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2.007. 208 p. Tese (Doutorado).

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e Funcionamento de Biodigestores**. 1981. 62p

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Agropecuária, Porto Alegre, 1983.

SILVA, J. A.; DE OLIVEIRA, A. P.; ALVES, G. D. S.; CAVALCANTE, L. F.; DE OLIVEIRA, A. N.; ARAÚJO, M. A. **Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 253-257, 2012

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. **Emissões do setor de agropecuária**. [s. L.]: Seeg, 2018. 92 p. Disponível em: <http://www.imaflora.org/downloads/biblioteca/Relatorios_SEEG_2018-Agro_Final_v1.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Termelétrica: Gás natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016. 417 p.

WINROCK INTERNACIONAL- BRASIL. **Manual de treinamento em Biodigestão**. Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), 2008. 1 23 p.